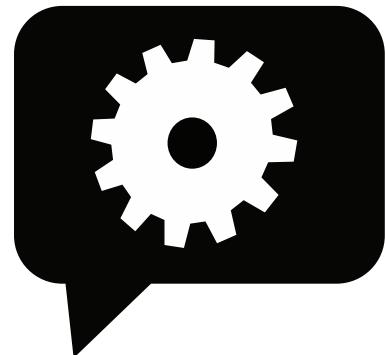


ISBN 978-950-42-0173-1



# CADI 2016

7,8 Y 9 DE SEPTIEMBRE  
RESISTENCIA - CHACO



## III CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA

En conjunción con:

### CAEDI 2016

IX CONGRESO ARGENTINO DE  
ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA



**UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL  
RESISTENCIA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
DEL NORDESTE  
FACULTAD  
DE INGENIERÍA**



**confedi**

ISBN 978-950-42-0173-1

**Editores:**

Alejandro Farias  
Jorge Pilar  
Cesar J. Acuña

# **CADI 2016**

## **III CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA**

En conjuncion con:

### **CAEDI 2016**

### **IX CONGRESO ARGENTINO DE ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA**

7,8 y 9 de Septiembre de 2016  
Resistencia | Chaco | Argentina

Actas del III Congreso Argentino de Ingeniería: CADI 2016. 1º Edición  
Compilado por Alejandro Rubén Farías, Jorge Pilar, César J. Acuña  
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia - 2016.  
Libro digital, PDF - Archivo Digital: descarga y online  
ISBN 978-950-42-0173-1

# EL SOFTWARE “THERM”, v. 6.3 APLICADO AL ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE PUENTES TÉRMICOS EN EDIFICIOS DEL NEA CONSTRUIDOS MEDIANTE SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN NO CONVENCIONAL

**Manuel Venhaus Held**, Becario de Investigación – SGCyT – FAU – UNNE,  
manu\_ven@hotmail.com

**Herminia M. Alías**, Directora de Beca de Pregrado SGCyT – UNNE – Profesora Adjunta  
Cátedra Estructuras II – FAU – UNNE, heraldías2001@yahoo.com

**Guillermo J. Jacobo**, Director de Proyecto de Investigación SGCyT – UNNE – Profesor  
Titular Cátedra Estructuras II – FAU – UNNE, gjjacobo@hotmail.com

**Resumen**— El trabajo tiene por objeto analizar el comportamiento higrotérmico de las envolventes constructivas de edificios en el Nordeste Argentino (NEA) materializados mediante sistemas constructivos que emplean materiales prefabricados y mano de obra especializada, atendiendo particularmente al impacto que tienen los puentes térmicos en este comportamiento. El objetivo es desarrollar criterios de optimización del desempeño energético de estas envolventes.

Muestras de tipos de construcciones no convencionales más usuales en el NEA fueron evaluadas con procedimientos de cálculo de las Normas IRAM en su serie 11.600. Y mediante simulaciones realizadas con el software THERM, un programa de cálculo de transmisión de energía en dos dimensiones, en su versión 6.3. A partir del diagnóstico energético obtenido de estas evaluaciones pudieron plantease criterios de optimización de las soluciones constructivas que fueron reevaluadas, estableciendo paralelismos entre su situación original y optimizada.

A diferencia de la Normativa vigente, el software THERM calcula la Transmitancia Térmica Total de los modelos dibujados. Por ello posibilita la obtención de un Coeficiente Ponderado de Transmitancia que incorpora Muro Opaco y Puente Térmico y a partir de la graficación del flujo de calor a través del cerramiento, reconocer fácilmente los puntos más críticos, para concentrar las acciones de optimización en ellos. THERM resulta por lo tanto un complemento a la normativa muy útil por la valiosa información gráfica que aporta.

**Palabras clave**— *Software, Prefabricación, Confort Higrotérmico, Transmitancia Térmica.*

## 1. Introducción

Para la clasificación de Sistemas Constructivos en Tradicionales o Convencionales y No Tradicionales o No Convencionales, pueden emplearse variados criterios. Por ejemplo, diferenciarlos en base a la generalización de su empleo o considerando variables como las herramientas, la mano de obra y los materiales empleados por cada sistema. La definición de construcción “convencional” y “no convencional” en definitiva depende del contexto geográfico e histórico en que se desarrolla el sistema. Pudiendo ser una misma técnica tradicional en una región y no tradicional en otra, o transformarse en tradicional con el paso

del tiempo. A los fines de este trabajo y en concordancia al consenso generalizado sobre la igualdad de términos, se considera a la construcción “no convencional” como aquella “industrializada”. Es decir, la que emplea materiales prefabricados elaborados en serie con maquinaria automatizada y que por ello requiere equipos y mano de obra especializada o profesional para su manipulación. Entendiéndola opuesta a la construcción artesanal, reconocida como tradicional. No obstante, debe reconocerse que un solo sistema constructivo no siempre define a la edificación en su totalidad, siendo más común que el conjunto edificado resulte en una combinación de sistemas constructivos diferentes. Para el presente artículo se centra el estudio en las envolventes perimetrales, en especial muros exteriores, de edificios materializados mediante sistemas constructivos no convencionales

Las edificaciones son responsables de alrededor del 40% del consumo de energía en la Argentina, y de este consumo el mayor gasto se debe a la climatización de los ambientes, es decir a su calefacción y refrigeración. Por otra parte, la mitad de esta energía es ganada o perdida a través de los cerramientos opacos.

En otro orden de cosas, la implementación de la construcción no convencional, si bien no muy frecuente en el medio regional del Nordeste Argentino, se ha incrementado notablemente en los últimos años. En este contexto, la estructura portante de los edificios materializados con técnicas industrializadas y entramados en seco, constituye generalmente importantes puentes térmicos crónicos en diferentes puntos de la construcción. Los puentes térmicos son definidos por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación - IRAM [1] como *“heterogeneidades de un elemento constructivo que forman parte de la envolvente (pared, piso, techo, etc.) de un edificio que ocasionan mayor flujo de calor a través de ésta”*. Considerando que el clima de la zona bioambiental I, subzona b, que establece la norma IRAM 11.603 para las ciudades de Resistencia y Corrientes, capitales de las Provincias de Chaco y Corrientes respectivamente, es muy cálido y húmedo, con altas temperaturas en verano e inviernos moderados, resultaría muy importante -y necesario- aumentar la eficiencia energética de los edificios a través del mejoramiento del desempeño higrotérmico de sus envolventes.

En este marco situacional, el presente trabajo plantea analizar, evaluar, diagnosticar y proponer criterios para mejorar térmicamente las envolventes exteriores de edificios materializados mediante sistemas de construcción no convencional en los principales centros urbanos del NEA, prestando particular atención al impacto de los puentes térmicos en su comportamiento general, para contribuir con dichas envolventes a lograr que los espacios interiores que ellas albergan reúnan condiciones higrotérmicas más cercanas a las del confort, y por lo tanto demanden un uso menos intensivo de dispositivos electromecánicos de climatización artificial, disminuyendo el consumo de energía eléctrica.

## **2. Materiales y Métodos**

El trabajo se inició por relevar y estudiar los principales tipos y subtipos de construcciones no convencionales y los materiales empleados para su construcción. Se seleccionó y describió una muestra de los cinco sistemas constructivos no convencionales más empleados en el NEA.

Esta muestra fue, en primer lugar, analizada en base a la Normas Técnicas Vigentes en los principales centros urbanos de la región. Se evaluó el cumplimiento de las condiciones técnico - constructivas que los Reglamentos Generales de Construcción y los Códigos de Edificación locales y regionales establecen para la construcción no convencional. Para ello se destacaron los principales criterios establecidos en estas normas y se sistematizó su

evaluación a fin de poder someter a todos los sistemas constructivos a las mismas consideraciones.

Seguidamente, los sistemas constructivos reconocidos fueron sometidos a evaluaciones propuestas por la Normativa de Habitabilidad del Instituto Argentino de Normalización y Certificación, específicamente las Normas IRAM de la serie 11.600. En primer lugar, se determinó el Coeficiente de Transmitancia Térmica (K) para cada sistema de acuerdo a los métodos de cálculo del aislamiento térmico de edificios propuestos por la Norma IRAM 11.601. El método procede de manera individualizada en el cálculo de la Transmitancia Térmica Lineal de la porción opaca del muro “*Kmo*” y de la porción de las heterogeneidades “*Kpt*” (puentes térmicos), para determinar, a partir de la relación entre los valores (*Kpt/Kmo*), la aptitud del cerramiento. La misma se logra si la transmitancia térmica de un puente térmico no supera el 50% del valor de transmitancia térmica del muro opaco. En casos especiales, en que la distancia entre los puentes térmicos lineales es menor a 1,70 m., caso general de los sistemas constructivos no convencionales, la tolerancia se reduce al 35%. En segunda instancia se realizó una consideración del Riesgo de Condensación Superficial e Intersticial en la estación de invierno de las distintas soluciones tecnológicas de acuerdo a la metodología propuesta por la Norma IRAM 11.625. Para estos cálculos se consideraron las condiciones de diseño para invierno en la Ciudad de Resistencia, es decir la temperatura exterior de diseño (-1,8°C), la temperatura ideal de diseño interior determinada por la Norma en 18°C y una Humedad Relativa Interior de 75%. Además, se consideraron los coeficientes de transmitancia térmica (K) obtenidos anteriormente y la resistencia al paso de vapor de agua de cada una de las capas constitutivas.

Los cerramientos - tipo considerados fueron finalmente analizados mediante Simulaciones desarrolladas por el software THERM, en su versión 6.3. Éste es un programa de cálculo de calor en régimen estacionario que resuelve numéricamente la ecuación de transmisión de energía en dos dimensiones a través de la sección transversal de elementos de construcción, como ventanas, paredes, cimientos, techos y puertas [2]. Fue desarrollado por el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley de los Estados Unidos y se encuentra disponible para su descarga gratuita. Como resultado de las simulaciones, aporta valores numéricos de transmitancia térmica, denominados U-factors, e información gráfica como Isothermas (Isotherms) o líneas de igual temperatura, los Vectores de Flujo (Flux Vectors) o caminos preponderantes seguidos por el calor y la Transmisión del Flujo de Calor mediante Escala de Colores (Color Infrared). En primer lugar se dibujaron las geometrías de la sección transversal de los cerramientos tipológicos en THERM con la incorporación de plantillas .DFX de base elaboradas con el software de diseño AutoCAD™. A cada geometría luego se le asignó el material correspondiente, extraído de una Librería de Materiales creada con los mismos valores de conductividad térmica empleados en los cálculos de acuerdo a IRAM. Las simulaciones se realizaron considerando una situación de verano, que afecta en mayor medida al NEA, con un flujo de calor desde el exterior hacia el interior, en sentido horizontal por haber estudiado en detalle los cerramientos verticales. De acuerdo a estas premisas se determinaron las Condiciones de Contorno o Boundary Conditions del modelo simulado, aplicando para el exterior una Temperatura Máxima de Diseño establecida por la Norma IRAM 11.603 en 39,8°C para Resistencia y una Conductancia de la Capa Superficial de Aire de 25,00 W/m2K, correspondiente a los 0,04 m2K/W de Resistencia Superficial Exterior (Rse). Y como condiciones interiores se adoptó una Temperatura Ideal de Diseño Interior de 25°C para Verano y 7,69 W/m2K como Conductancia de la Capa Superficial de Aire, equivalente a los 0,13 m2K/W de Resistencia Superficial Interior (Rsi) establecida por IRAM. Determinados todos estos parámetros se procedió a la simulación de los cinco sistemas constructivos no convencionales seleccionados. El software THERM calcula la transmitancia

térmica total del modelo dibujado. Esto implica que para poder establecer las relaciones entre muro opaco y puente térmico y determinar la aptitud del cerramiento tal como lo realiza la Norma IRAM, deban simularse ambas porciones en modelos separados. Desde el punto de vista gráfico, los resultados de este modo pierden riqueza debido a la transmisión homogénea de calor que se produce. Si, en cambio, se simula en un mismo modelo el comportamiento de la sección transversal del sistema constructivo incorporando tanto muro opaco como puente térmico, pueden obtenerse gráficos que muestran de forma clara la influencia de las heterogeneidades en la transmisión de calor a través de los cerramientos - tipo. De esta manera es posible obtener un Coeficiente Ponderado de Transmitancia que representaría la “transmitancia promedio” del cerramiento, teniendo en cuenta la importante presencia de puentes térmicos en la construcción no convencional. Debido a estas cuestiones se simularon con THERM 6.3 para cada sistema constructivo un modelo de muro opaco asilado, otro únicamente con la porción de puente térmico y un último que incorpora ambos.

A partir de un diagnóstico higrotérmico y energético realizado con los resultados de los análisis descriptos, se propusieron medidas de optimización del diseño de los sistemas constructivos, en la búsqueda de mejorar sus comportamientos frente a la transmisión del calor y en especial atenuar el efecto de los puentes térmicos.

### **3. Resultados y Discusión**

#### **3.1 Muestra Representativa**

En cuanto a los sistemas constructivos no convencionales de uso más habitual en el NEA, se detectó, por un lado, el Sistema de Grandes Paneles, con paneles transversales de carga de Hormigón Armado espaciados a 3,00 m., y paneles rigidizantes en la parte central de los edificios [3]. Las terminaciones interiores se materializan con placas de roca de yeso sobre estructuras metálicas. Por otro lado, se reconoció el uso de Sistemas Livianos con Entramado, tanto de Madera como Metálico. Los mismos están formados por la combinación de elementos portantes ligeros, comúnmente denominados soleras y montantes, que se ubican cada 0,40 a 0,60 m. para formar bastidores portantes. En el primer caso, también llamado Balloon Framing, las piezas son de madera y en el segundo, comúnmente denominado Steel Framing, se compone de perfiles metálicos galvanizados conformados en frío con forma de “C” o “U”. Los bastidores se completan con elementos de cerramiento, como tablas de machimbre o tableros OSB, y de revestimiento, empleadas como acabado y protección. También se detectó la aplicación de Sistemas Livianos de Paneles Prefabricados, paneles del tipo sándwich con estructura de madera que componen los tabiques interiores, exteriores y cielorrasos. La estructura interna de los paneles se materializa con bastidores de madera de pino y su terminación interior es de placas de roca de yeso. La terminación exterior varía de acuerdo a la marca comercial, materializándose por lo general con placas cementicias de alto impacto, pudiendo incluso conformarse con mamposterías, dando una imagen más tradicional. Por último, se analizó el Sistema de Paneles Aligerados con Núcleo de Poliestireno Expandido y Malla Electro-soldada Espacial. Este tipo de sistema industrializado abierto utiliza paneles de poliestireno expandido y mallas de acero prefabricados en forma modular que luego reciben la aplicación a presión de un revoque estructural de hormigón en obra, que provee tanto estructura, protección y terminación.

Los sistemas constructivos reconocidos, en general, se conforman por elementos mult capas que incorporan en su interior la aislación hidráulica, térmica y acústica. Dada la naturaleza constructiva de los mismos, la repetición de piezas estructurales para la conformación de los bastidores y estructuras portantes, interrumpe por lo general el desarrollo de las aislaciones

térmicas en las multicapas, conformando las heterogeneidades reconocidas como puentes térmicos.

### **3.2 Verificaciones y Simulaciones**

Sobre el estudio de la Normativa Técnica Vigente en la región puede mencionarse que la misma se avoca principalmente a la reglamentación del diseño de ambientes (dimensiones, iluminación, ventilación), la imagen de las obras y la conformación urbana que surge del conjunto de ellas. En cuanto a sistemas o materiales constructivos no convencionales presentan una definición, clasificación y prescripción escasa y poco detallada. El Reglamento General de Construcciones de la Municipalidad de Resistencia y el Código de Edificación de la Ciudad de Corrientes contemplan el uso de variados sistemas de construcción, siempre que los mismos estén aprobados por la Subsecretaría de Vivienda y Desarrollo Ambiental de la Nación. La misma otorga el Certificado de Aptitud Técnica (C.A.T.) a todo material, elemento o sistema constructivo que considere "no tradicional". Para la obtención de la certificación, además de especificaciones sobre materias primas, fabricación y aplicación de los materiales, componentes o sistemas, se exige la presentación de ensayos de conductividad térmica y resistencia al paso de vapor de agua. El Código de Edificación de la Municipalidad de Posadas, Provincia de Misiones, por su lado establece un mecanismo propio de certificación de aptitud técnica de materiales, equipos y sistemas constructivos no convencionales. El Reglamento General de Construcciones de la Ciudad de Formosa, capital de homónima Provincia, es el que menor mención hace a la construcción no tradicional, aunque contempla la construcción de estructuras de hormigón armado, metal o madera con las pertinentes protecciones. La determinación de la pertinencia de cada uno de los sistemas o materiales de construcción no puede realizarse en forma general y cada caso debe ser presentado en particular ante los organismos municipales o nacionales correspondientes para su evaluación. Sin embargo, es importante destacar que las distintas certificaciones de aptitud, tanto nacionales como locales, tienen una validez por general de tres años, lo cual obliga a su renovación periódica, garantizando la revisión y optimización constante de los sistemas constructivos.

De acuerdo a los valores de transmitancia térmica obtenidos de la aplicación de la Normativa de Habitabilidad Vigente, el 80% de los sistemas constructivos analizados alcanza para verano el Nivel A, es decir el recomendado por la Norma IRAM 11.605 para las Zonas Bioambientales I y II, en que se inscribe el NEA. Esto significa que su Coeficiente de Transmitancia Térmica (K) es menor a  $0,54 \text{ W/m}^2\text{C}$ . El restante 20% registra valores dentro del Nivel B (medio), no encontrándose ninguno dentro del nivel mínimo o por debajo del límite mínimo establecido. Esto demuestra una aislación térmica muy satisfactoria de las construcciones no convencionales para las condiciones de verano, de mayor incidencia en la región. Para la situación de invierno, de menor importancia dado el clima característico del NEA, el 40% cumple con el Nivel A y el 60% restante, con el Nivel B. Si de la aptitud respecto a los puentes térmicos se trata, el 80% de ellos resulta insatisfactorio, es decir que la transmitancia térmica del puente térmico supera el 35% de tolerancia (según norma) respecto al muro opaco, registrándose valores entre 300% y 750% mayores. Se nota aquí la falta de consideración al momento de diseñar los sistemas constructivos de este flagelo que reduce de manera considerable el comportamiento higrotérmico de los mismos. Si se observa que el sistema de grandes paneles es el único que resulta apto y que éste asimismo es el único que se encuadra dentro del Nivel B para verano, puede reconocerse la tendencia de disminución de la aptitud de los sistemas constructivos no convencionales respecto a los puentes térmicos cuanto menor es la transmitancia térmica de sus muros opacos. Esto debido a que los materiales aislantes térmicos reducen en gran medida la transmitancia térmica, mientras para los puentes térmicos se emplean materiales con altos coeficientes de conductividad térmica. Y

que en el afán de aumentar la aislación térmica y dada la naturaleza constructiva de estas técnicas, que deja importantes espacios en los intersticios del entramado estructural capaces de ser rellenados con material aislante, generalmente se pasan por alto las consideraciones respecto a los puentes térmicos.

Dados los buenos valores de resistencia térmica que registran los diferentes cerramientos tipológicos, ninguno de ellos presenta Riesgo de producir Condensaciones Superficiales en condiciones de invierno de acuerdo a lo establecido por la Norma IRAM 11.625. En relación al Riesgo de Condensación Intersticial, sin embargo, puede reconocerse una segunda tendencia en el comportamiento higrométrico de los cerramientos estudiados. La condensación intersticial de vapor de agua por lo general se produce a partir del material aislante hacia las capas constitutivas exteriores del cerramiento. Esto se debe a que los diferentes materiales aislantes térmicos reducen la temperatura de bulbo seco de manera drástica, pero dejan pasar con facilidad el vapor de agua, provocando la condensación. La aparición de agua en las capas intersticiales de los cerramientos edilicios altera sus propiedades físicas y químicas, poniendo en riesgo su durabilidad, comportamiento mecánico e higrotérmico.

Las Simulaciones desarrolladas con el Software THERM 6.3 aportaron dos tipos de resultados de interés. En primer lugar, los valores numéricos de transmitancia térmica. Si se comparan aquellos obtenidos para el muro opaco y el puente térmico en forma aislada con las metodologías de IRAM por un lado y las simulaciones de THERM por otro, puede reconocerse una gran similitud en los resultados, existiendo una discrepancia promedio de 3,4% que se acrecienta conforme se complejiza la figura del perfil transversal. Si en cambio se considera la Transmitancia Térmica Ponderada, esto es el flujo de calor a través del modelo que incorpora tanto muro opaco como puente térmico, los rendimientos de los sistemas constructivos disminuyen considerablemente. Si se evaluaran estos valores con aquellos que IRAM considera admisibles, el 40% de los sistemas constructivos alcanzaría el Nivel A para verano y únicamente el 20% el mismo nivel para invierno. Ubicándose en el Nivel B el 40% para verano y el 60% para invierno. El sistema de núcleo de poliestireno expandido con malla electro-soldada incluso se encontraría por encima de los niveles mínimos establecidos por norma con esta nueva consideración. Estas consideraciones sin embargo se hacen de manera anecdótica, ya que una verdadera evaluación demandaría la reformulación de la Normativa y una redeterminación de los valores que la misma considera admisibles.

En segundo lugar, THERM aportó información gráfica de gran valor. En gráficos de isoterma o de gradiente de temperatura representado mediante escala de colores, puede reconocerse claramente el comportamiento del perfil transversal ante el paso del calor. En los sistemas constructivos analizados se advierte que la mayor reducción de temperatura se produce en la porción correspondiente al aislante térmico y que al verse el mismo interrumpido por un elemento estructural (puente térmico), las líneas de igual temperatura tienden a bordear la heterogeneidad, acercándose a los límites del cerramiento. Por medio de gráficos de vectores de flujo y escalas colorimétricas de magnitudes de flujo puede notarse la concentración de la transmisión del calor en los puentes térmicos y el poder de atracción del flujo que tienen sobre sectores de muro opaco. Si bien los Riesgos de Condensación Superficial o Intersticial son valores no aportados por el Software, conociendo las temperaturas de bulbo seco en que las temperaturas de rocío son sobrepasadas, es posible determinar en gráficos de isoterma el punto en que ambas temperaturas entran en contacto y se inicia la condensación intersticial.

Con lo expuesto pueden reconocerse principalmente dos puntos críticos en el comportamiento higrotérmico y energético general de los sistemas constructivos no convencionales de uso

habitual en la región. Por un lado, la inaptitud de los cerramientos respecto a los puentes térmicos, por el descuido de la proporcionalidad entre valores por la persecución de bajos niveles de conductividad térmica de los muros opacos. Y, por otro lado, Riesgo constante de Condensación Intersticial, dado que los materiales aislantes térmicos, por lo general de naturaleza porosa, no impiden el paso de vapor de agua de igual manera que lo hacen con el paso del flujo de calor.

### **3.3 Optimización**

Realizado el diagnóstico energético general de los sistemas constructivos analizados, se propusieron criterios para su optimización en dos líneas de acción. Primero, considerando que en cuatro de los cinco casos los puentes térmicos son estructuralmente imprescindibles, lo perseguido fue la reducción de la diferencia de transmitancia térmica entre muro opaco y puente térmico, para ajustarse a la tolerancia del 35% establecida por IRAM. Esto se consiguió por un lado reemplazando el material que constituía el puente térmico por uno de menor valor de conductividad, sin modificar sus propiedades mecánicas. Por ejemplo, las armaduras de acero pudieron ser reemplazadas por varillas de resina de vinil y fibra de vidrio. Otra medida aplicada fue la sustitución del material aislante de baja conductividad térmica por otro de conductividad mayor, sin que el cerramiento en general pierda la clasificación obtenida respecto a IRAM 11.605 para las Zonas Bioambientales I y II. Así la espuma de poliuretano (0,022 W/m°C) o la lana de vidrio (0,032 W/m°C) pudieron ser reemplazadas por poliestireno expandido (0,035 W/m°C).

Por otro lado, se procedió con la reubicación de la porción aislante dentro de las capas del cerramiento. Se lo retiró de su ubicación usual en el espacio dejado por los entramados estructurales y se lo ubicó por delante del mismo, permitiendo cubrir y proteger con aislación térmica todo el cerramiento. Esto a su vez permitió dejar los intersticios estructurales llenos de aire, de menor resistencia térmica que los materiales aislantes colocados anteriormente en la misma posición, reduciendo considerablemente la diferencia de conductividad térmica entre ambas porciones del cerramiento.

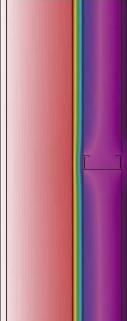
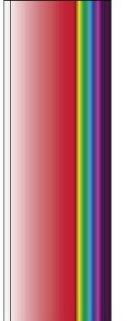
Las diferentes capas constitutivas de la sección transversal deben asimismo mantenerse unidas entre sí y para ello requieren elementos de fijación. Debido a esto, la continuidad estricta del aislante no siempre es posible ya que se constituyen puentes térmicos no solo a efectos estructurales generales de la edificación, sino propios del cerramiento. Por ello se buscó reemplazar este tipo de situaciones por componentes que empleen sistemas de fijación sin necesidad de estructuras intermedias. Como las placas de roca de yeso de terminación interior aplicadas como revoques secos con el uso de adhesivos, en vez de medios tabiques con estructura de perfiles galvanizados. Los sistemas constructivos totalmente industrializados, como los paneles prefabricados, que en obra simplemente se ensamblan son más propensos a adquirir este tipo de medidas por su producción más racionalizada y controlada.

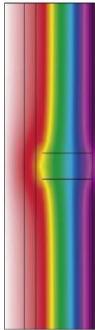
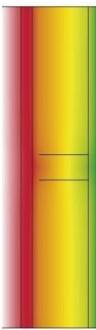
Ante el segundo punto crítico reconocido en los sistemas constructivos no convencionales, el siguiente criterio de optimización fue la disminución del Riesgo de Condensación Intersticial mediante el freno del paso de vapor de agua a través del sistema constructivo, reubicando la barrera de vapor dentro de la multicapa o aumentando la resistencia a su paso. Esto último logrado mediante el incremento de la cantidad de barreras de vapor empleadas o el reemplazo de algunos materiales muy permeables al paso de vapor por otros de mayor resistencia. También se planteó la posibilidad de disminuir los saltos térmicos entre las diferentes capas constitutivas, disminuyendo el material o el espesor de la porción del aislante térmico, a fin de que las temperaturas de bulbo seco y de rocío no entren en contacto.

De las verificaciones y simulaciones a que se sometieron los sistemas constructivos en su situación optimizada puede observarse que en todos los casos el gradiente de temperatura a través de la sección transversal se vuelve más regular y las mayores disminuciones se concentran en la capa correspondiente al aislante térmico. Esto responde a la atenuación del efecto del puente térmico, generando isotermas más paralelas que ya no bordean al puente térmico. También puede reconocerse que las mayores magnitudes de flujo de calor se redistribuyen, dando la pauta de que no sólo el material utilizado es decisivo en el comportamiento térmico, sino su ubicación respecto al conjunto. También es interesante verificar que, en la situación optimizada, si bien los vectores de flujo aumentan de valor, se distribuyen de manera más regular en toda la sección transversal. La escala colorimétrica de magnitudes de flujo evidencia este fenómeno en que el gráfico adopta coloraciones púrpura más claras, pero disminuye considerablemente la amplitud de la escala, denotando la aptitud respecto a puente térmico y muro opaco.

La Tabla 1 expone los resultados más relevantes de los sistemas estudiados con ambas metodologías y en los casos originales y optimizados. Los gráficos ilustrados corresponden a la Escala Colorimétrica de Gradiente de Temperatura (*Color Infrared*) y Escala Colorimétrica de Magnitudes de Flujo (*Color Flux Magnitud*), a la izquierda y derecha respectivamente de cada situación. En estas escalas, los colores fríos (azules y morados) corresponden a temperaturas y flujos de calor bajos, mientras los colores cálidos (amarillos y rojos) representan temperaturas y flujos de calor altos.

Tabla 1. Comparación de Situación Original y Optimizada de los Sistemas Constructivos No Convencionales analizados.

Situación Original	Situación Optimizada
<b>Sistema de Grandes Paneles</b>	
Cerramiento Panel Portante de HºAº con terminación exterior de Revoque a la Cal e interior de Placas de Roca de Yeso	Eliminación del Puente Térmico aplicando un Revoque Seco sobre Poliestireno Expandido
	
Coeficiente de Transmitancia Térmica	
Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM
<b>0,9731 W/m2ºC</b>	<b>0,9856 W/m2ºC</b>
<b>Nivel B</b> (verano)	<b>Nivel B</b> (verano)
<b>SI Apto</b> respecto a Puentes Térmicos	<b>SI Apto</b> respecto a Puentes Térmicos
<b>NO</b> produce Condensación Superficial	<b>NO</b> produce Condensación Superficial
<b>SI</b> produce Condensación Intersticial	<b>SI</b> produce Condensación Intersticial

Sistema Liviano con Entramado de Madera			
Cerramiento Tipo Balloon Frame con terminación exterior de Siding de Pino e interior de Machimbre de Pino		Reubicación del Aislante Térmico en la cara interna para abarcar al Puente Térmico	
			
Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica	
Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM
<b>0,2624 W/m<sup>2</sup>°C</b>	<b>0,3220 W/m<sup>2</sup>°C</b>	<b>0,4826 W/m<sup>2</sup>°C</b>	<b>0,4812 W/m<sup>2</sup>°C</b>
Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)
NO Apto respecto a Puentes Térmicos	SI Apto respecto a Puentes Térmicos	NO produce Condensación Superficial	NO produce Condensación Superficial
NO produce Condensación Superficial	SI produce Condensación Intersticial	SI produce Condensación Intersticial	SI produce Condensación Intersticial
Sistema Liviano con Entramado Metálico			
Cerramiento Tipo Steel Frame con term. ext. de Revestimiento Plástico e int. de Roca de Yeso		Reubicación del Aislante Térmico en la cara interna para abarcar al Puente Térmico	
			
Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica	
Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM
<b>0,3896 W/m<sup>2</sup>°C</b>	<b>0,6004 W/m<sup>2</sup>°C</b>	<b>0,4530 W/m<sup>2</sup>°C</b>	<b>0,4919 W/m<sup>2</sup>°C</b>
Nivel A (verano)	Nivel B (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)
NO Apto respecto a Puentes Térmicos	SI Apto respecto a Puentes Térmicos	NO produce Condensación Superficial	NO produce Condensación Superficial
NO produce Condensación Superficial	SI produce Condensación Intersticial	SI produce Condensación Intersticial	SI produce Condensación Intersticial

Sistema Liviano de Paneles Prefabricados			
Panel Sandwich de Madera de Pino con term. ext. de Placa Cementicia e int. de Roca de Yeso		Reubicación del Aislante Térmico en la cara externa para abarcar al Puente Térmico	
Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica	
Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM
<b>0,2755 W/m<sup>2</sup>°C</b>	<b>0,4243 W/m<sup>2</sup>°C</b>	<b>0,4698 W/m<sup>2</sup>°C</b>	<b>0,4641 W/m<sup>2</sup>°C</b>
Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)
NO Apto respecto a Puentes Térmicos	SI Apto respecto a Puentes Térmicos	NO produce Condensación Superficial	NO produce Condensación Superficial
NO produce Condensación Intersticial	SI produce Condensación Intersticial	NO produce Condensación Intersticial	SI produce Condensación Intersticial

Sistema de Paneles Aligerados con Núcleo de Poliestireno y Malla Electro-soldada Espacial			
Cerramiento de Poliestireno Expandido y Malla Electrosoldada con Hormigón Proyectado.		Reemplazo del Acero por Varillas de Resina de Vinil y Fibra de Vidrio.	
Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica	
Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM
<b>0,5090 W/m<sup>2</sup>°C</b>	<b>2,5319 W/m<sup>2</sup>°C</b>	<b>0,5082 W/m<sup>2</sup>°C</b>	<b>0,5868 W/m<sup>2</sup>°C</b>
Nivel A (verano)	No califica	Nivel A (verano)	Nivel B (verano)
NO Apto respecto a Puentes Térmicos	NO Apto respecto a Puentes Térmicos	NO produce Condensación Superficial	NO produce Condensación Superficial
NO produce Condensación Intersticial	SI produce Condensación Intersticial	NO produce Condensación Intersticial	SI produce Condensación Intersticial

Fuente: Elaboración propia

Debe destacarse que, si bien en algunos casos la transmitancia térmica de la situación optimizada aumenta respecto a la situación original, los valores se mantienen dentro del Nivel A propuesto por la Norma IRAM 11.605 y el 80% de los sistemas logran con ello la aptitud respecto a los puentes térmicos.

Otro fenómeno observado principalmente en los sistemas que emplean elementos de madera como estructura principal de los entrenados, es que, al reubicar el material aislante, las heterogeneidades se convierten en los puntos del cerramiento en que se producen los menores flujos de calor. Ya que, debido a su masa, ofrecen mayor resistencia al paso de temperatura que las cámaras de aire que se encuentran en sus intersticios en reemplazo del material aislante que lo ocupaba anteriormente. De esta manera, la lógica de muro opaco y puente térmico se invierten.

En cuanto al segundo punto crítico, el Riesgo de Condensación Intersticial no pudo ser erradicado por completo pese a la aplicación de las estrategias de optimización. Se ha logrado reducir la diferencia de temperatura de bulbo seco y de rocío, retardando el proceso. Pero la eliminación total del fenómeno únicamente se conseguiría con la implementación de soluciones costosas y constructivamente complejas, como la incorporación de numerosas barreras de vapor o la resignación de propiedades aislantes térmicas del cerramiento.

#### **4. Conclusiones y recomendaciones**

En primer lugar, puede reconocerse que los Sistemas de Construcción No Convencional de empleo usual en el Nordeste Argentino que pudieron analizarse en el presente trabajo registran buenos comportamientos higrotérmicos y energéticos generales. En especial por su principio de racionalidad, son sistemas que incorporan las consideraciones de confort ambientales y principalmente aislación térmica. Sin embargo, existen aspectos que en el desarrollo de la investigación pudieron mejorarse y que aún pueden seguir optimizándose. En especial en relación al comportamiento de los puentes térmicos, elementos principales de la construcción no convencional. Al momento de diseñar soluciones constructivas es importante buscar no solo la menor conductividad térmica posible, sino estudiar la relación entre puente térmico y muro opaco. Y en especial evaluar las grandes disminuciones de temperatura dentro del cerramiento en relación al principal flagelo que acusa a la construcción en la región, la condensación intersticial de vapor de agua. Problemática que sin embargo se cree sobreestimada por la normativa IRAM por los valores de diseño excesivamente bajos que determina para las verificaciones en la región.

La falta de verificación y exigencia del cumplimiento efectivo de la normativa de habitabilidad y técnico-constructiva vigentes por parte de los diferentes estamentos gubernamentales, hace que su cumplimiento se limite muchas veces a voluntades expresas de diseñadores, constructores y comitentes. Las mejoras en los rendimientos de los diferentes sistemas constructivos, por otro lado, significan en la mayoría de los casos aumentos de los costos iniciales y en una industria tan competitiva como la construcción, ello genera pérdida de competitividad. En especial si no todos los actores aplican o son obligados a aplicar iguales criterios de diseño.

Se considera necesaria la revisión de los diferentes Reglamentos y Códigos de Construcción de las principales ciudades de la región, actualmente muy retrasadas respecto a los importantes avances de la construcción industrializada. Con el objetivo de una inclusión más amplia de consideraciones respecto a las performances higrotérmicas y energéticas de los sistemas constructivos en general y de la normalización del uso de los sistemas constructivos no convencionales. Todo en favor de un cambio de paradigma que tome en cuenta principalmente costos económicos y ambientales de todo el ciclo de vida de las edificaciones,

no sólo las inversiones iniciales, en especial ante la crisis ecológica mundial y el déficit energético que vive la región.

En cuanto al uso del Software de simulación THERM 6.3, su interface sencilla y los resultados numéricos muy similares a la Normativa del IRAM lo convierten en una herramienta muy útil y confiable de complemento a las verificaciones realizadas con las normas de habitabilidad vigentes en la Argentina.

Si bien las discrepancias entre los valores obtenidos con uno y otro método de cálculo son muy pequeñas, el principal problema no es la calibración de los resultados, sino la naturaleza de los mismos. La Normas IRAM establecen los procedimientos de determinación de la resistencia térmica de las envolventes de los edificios procediendo de manera individualizada con el cálculo de la Transmitancia Térmica Lineal de la porción opaca del muro y del puente térmico. El software THERM, por su lado, calcula la transmitancia térmica total del modelo dibujado, implicando que para poder establecer iguales relaciones que con la Norma IRAM deban desarrollarse una serie adicional de operaciones que terminan siendo más engorrosas y largas que la aplicación de las planillas de cálculo que propone IRAM. El software tampoco calcula los Riesgos de Condensación Superficial e Intersticial de los diferentes cerramientos, verificaciones muy importantes en la determinación de sus comportamientos. Por estas diferencias esenciales que impide que los resultados de las simulaciones puedan relacionarse directamente con estándares, clasificaciones y especificaciones determinadas por IRAM, es que se considera a THERM como un complemento. Un verdadero empleo del software como mecanismo de verificación del rendimiento higrotérmico y energético de las soluciones constructivas en nuestro país y región demandaría una reformulación de las Normas IRAM, o de THERM, a fin de que trabajen con iguales parámetros de evaluación y arrojen valores similares. Continuando con lo anterior, el software es empleado en Estados Unidos, su país de origen, como herramienta de certificación de diferentes elementos constructivos, en especial carpinterías. En la Argentina, sin embargo, no posee este reconocimiento oficial ni se adapta a la normativa vigente, por lo que esta ventaja desaparece.

A pesar de las diferencias descriptas anteriormente, se reconocen dos grandes ventajas en la aplicación de THERM. En primer lugar, la posibilidad de obtener un Coeficiente Ponderado de Transmitancia Térmica, que incorpora ambas porciones del cerramiento y de alguna manera determina un valor de transmitancia térmica promedio que puede aplicarse a toda la envolvente. Sin caer en errores de consideración exclusiva del muro opaco para la evaluación de los sistemas. En segundo lugar, se considera una herramienta muy útil para diseñadores por proveer información muy valiosa de orden gráfico. Esta información no es aportada por IRAM y es de gran utilidad para el reconocimiento claro del comportamiento de las secciones transversales de los cerramientos y de sus puntos más críticos.

Por otro lado, los métodos de verificación del comportamiento higrotérmico de los sistemas constructivos no solo se emplean una vez definidos los mismos, sino en el proceso de diseño. La modificación de alguna de las variables permite evaluar distintas alternativas y verificar sus diferentes comportamientos. Así al momento de diseñar puede evaluarse el comportamiento del sistema con diferentes espesores del material aislante, o bien modificar los diferentes materiales, variando las propiedades de conductividad de cada uno de ellos. En este sentido, en la aplicación de los diferentes métodos de evaluación descriptos en el presente trabajo pueden reconocerse diferencias. La Normativa IRAM se aplica mejor cuando se modifica la geometría de la sección transversal. Esto es la modificación de los espesores o las capas constitutivas. Ya que el agregado o la modificación de dichos valores en las planillas de cálculo es muy sencillo. El Software THERM 6.3 por su lado presenta ventajas únicamente

cuando se varían las propiedades de los diferentes materiales o las condiciones de contorno. Asignando un nuevo material al sistema constructivo simulado pueden entenderse fácilmente los cambios en su comportamiento. Sin embargo, modificar las geometrías es mucho más difícil que con las planillas de IRAM.

Por último, una de las desventajas más importantes en el uso de THERM, considerando usuarios de habla no inglesa, es que en la actualidad el software únicamente se encuentra disponible en idioma inglés. Esta situación se agudiza considerando que el actual plan de estudios de la Carrera de Arquitectura de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste no incluye el idioma como materia curricular, limitando la posibilidad de aprovechamiento de estudiantes y profesionales del medio de una herramienta de tan fácil acceso como este software. Si bien, en la operatoria de uso este inconveniente puede ir subsanándose gradualmente al familiarizarse con la interface y entendiendo cada una de las funciones. Todos los manuales de uso asimismo se encuentran en idioma inglés y los software se publica un Manual del Usuario que incorpora únicamente las nuevas funcionalidades o recomendaciones incorporadas. Para iniciarse en el manejo del software se debe recurrir a los manuales de las primeras versiones.

Se concluye entonces que el Software THERM 6.3 puede aplicarse a la evaluación del comportamiento higrotérmico y energético de los sistemas constructivos en general, de los sistemas constructivos no convencionales y en especial de los puentes térmicos. Dada la información gráfica aportada que permite leer fácilmente los puntos más críticos de dicho comportamiento. Esta aplicación sin embargo se entiende complementaria y no sustituye a las Normas del Instituto Argentino de Normalización y Certificación. El verdadero aprovechamiento del Software THERM en la Argentina demandaría además de su adaptación a la normativa de habitabilidad vigente, su traducción a la lengua hispana.

## **5. Referencias**

- [1] Norma IRAM 11.549. Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario. Tercera Edición. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina.
- [2] LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY (2013). *THERM 6.3 / WINDOW 6.3 NFRC Simulation Manual*. Berkeley, California, Estados Unidos.
- [3] MAC DONNEL, H. (1999). *Manual de Construcción Industrializada*. Editorial Revista Vivienda S.R.L. Buenos Aires, Argentina.